

地球物理勘查方法在铀矿找矿中的应用现状及展望

刘庆成
(东华理工大学, 江西 抚州 344000)

摘要: 简要介绍了我国铀矿勘查中常用地球物理方法的基本原理, 并分别对其应用效果及存在的问题进行了分析。结合我国核电发展对铀资源需求不断增长的现状和新时期铀矿勘查对地球物理技术的要求, 提出了铀矿勘查地球物理方法技术的发展方向及发展思路, 建议以新型产学研模式, 开发新一代铀矿找矿关键技术, 依靠自主创新, 突破技术瓶颈。同时提出多种勘查技术方法联合, 综合应用重、磁、电、地震、放射性、遥感、化探等多种技术方法, 建立不同景观区、不同矿床类型的勘查技术方法有效组合的地球物理找矿新模式, 尽快建立几个铀矿找矿技术试验场。

关键词: 铀矿; 地球物理方法; 放射性物探; 电磁法; 展望

为满足我国核电与国防事业对铀资源日益增长的需求, 必须加大对铀资源的勘探、开采力度。我国是铀资源较丰富的国家之一, 铀矿资源的主要区位优势是: 地质构造背景和成矿区域复杂多样, 铀成矿作用明显表现出多时代、多期次、多成因、多类型的特点, 与少数产铀大国相比虽然单个矿床规模偏小, 但铀矿类型多、矿床数量多、矿石性能好、产出较集中。“十五”以来, 我国实施了一大批铀矿地质找矿项目, 地球物理方法在铀矿勘查和科技攻关方面取得了一系列的重要突破, 北方地区开辟了找矿新区, 南方重点矿田铀矿勘查也取得重要进展^[1]。

我国的铀矿找矿工作虽然得到了稳步提升, 但仍存在两个问题, 一是各地区工作程度的失衡, 华东、华南地区相对较高, 西北、西南和东北地区普遍较低; 二是各阶段工作比例的失衡, 以往勘查工作过分集中在点上和 500 米以浅, 面上的区域评价较为薄弱, 深部勘探极为不够。国土资源部提出“向深部进军, 向深部开辟第二找矿空间”的找矿战略, 要求由原来 500 米以浅, 延伸到 1500 米深度, 找矿理论和勘查实践都取得了重要突破, 在这种大背景条件下, 已有多个铀矿床在 1000 米深度取得重要突破。面对这种新战略, 这就要求铀矿勘查的物探手段和方法必须不断改进, 以便适应新形势。

1 铀资源勘查物探技术应用现状

50 多年来, 为适应我国经济发展对铀资源的需求, 我国铀矿物探工作者始终坚持自主研发开发与引进消化吸收相结合的道路, 使我国铀矿物探得到了持续快速发展, 技术水平处于世界先进行列。

1.1 放射性方法

放射性物探在我国铀资源勘查中扮演重要角色, 是直接寻找铀矿和进行区域地质研究的重要手段和有效方法, 我国 90% 以上已发现的铀矿床都是通过放射性勘查发现的。

(1) 径迹蚀刻法

径迹蚀刻找矿方法 1975 年引入我国后, 通过大量试验研究建立了从野外到室内的一整套方法技术。该方法可探测埋深几十米至 200 多米的盲矿体, 在 1980 年代得到了广泛应用, 取得了较好的找矿效果^[2]。

作者简介:刘庆成 (1961—), 男, 湖南安化人, 博士, 教授, 地球物理专业
基金项目:国防基础科研 (A3420060145) 和科技部国际合作项目 (2007DFA20790)

(2) 伽玛能谱测量

在岩石露头良好, 浮土覆盖厚度不超过两米, 分散晕发育的地区, 地面伽玛能谱测量最为有利。车载伽玛能谱测量方法很适合在便于车辆通行的平原地区、丘陵地区和森林覆盖不很茂密的地区应用, 又可在不宜进行航测的边境地区开展。在我国北方中生代沉积盆地砂岩型铀矿勘查中, 车载伽玛能谱测量方法可以在研究盆地蚀源区的铀源条件、分析沉积盆地内的放射性地球化学环境、圈定隐伏断裂构造和识别隐伏铀矿化等方面发挥作用, 可为砂岩型铀矿远景靶区优选提供丰富的直接和间接找矿信息^[3]。坑内伽玛能谱测量是地面伽玛能谱测量的一个变种, 可减少因地面不同辐射角、地面放射性污染等方面的影响, 坑内伽玛能谱测量数据经过多参数组合处理和微弱信息提取来研究坑内伽玛能谱放射性异常与铀矿体位置的关系, 异常特征在浅地表工业铀矿体上方表现为铀异常区和铀迁移富集中心, 在深部铀矿体上方表现为铀高场向铀低场过渡的梯度带。因此, 对于寻找盆地内近地表铀矿以及预测深部铀矿可能的发育部位, 坑内伽玛能谱测量可以作为一种寻找铀矿的有效方法^[4]。

(3) 活性炭法

活性炭测氡法是探测深部隐伏铀矿的重要方法之一。70~80 年代, 基于活性炭的(对氡)强吸附能力, 我国开展了活性炭测氡法的应用研究, 开发了相应的活性炭测氡仪器, 取得了很好的应用效果, 近年来, 通过进一步研究, 开发了土壤氡捕集采样装置、瞬时式活性炭吸附氡采样装置及勘查方法, 提高了应用效果, 增强了适应性。

(4) 热释光法

我国于 20 世纪 70 年代后期开始进行热释光测量研究工作, 成功研究了采用土壤中的石英作为天然探测器的土壤热释光方法技术。该技术早期主要应用在寻找热液型铀矿床, 探测对象主要是岩石中的单矿物。利用岩石全岩和土壤作为探测器研究热释光物理场的变化进行找矿工作开展较少, 东华理工大学和核工业 230 研究所从基本原理、野外工作方法、应用条件等方面进行深埋热释光探测器和土壤天然热释光地球化学取样方法研究, 认为土壤可以作为一种热释光天然探测器。土壤热释光方法为一种经济、快速、简便的勘探方法^[6]。

(5) 氡法

1898 年 M.居里夫人发现与镭接触的空气中具有放射性, 但不知道这种放射性的来源和性质, 直到 1900 年 F.多恩证明了空气中的这种放射性起因于镭放出的一种气体, 以后不久, E.卢瑟福、F.索迪和 W.拉姆厅等人一致认为这种气体是一种惰性气体, 在氡的性质研究方面迈出了第一步, E.卢瑟福称这种气体为射气(Emanation), 而 W.拉姆厅和 R.戈瑞将这种气体命名为氡(Niton), 到 1923 年的国际会议上正式将这种气体定名为氡(Radon)。氡的发现历史仅 100 多年; 早在 20 世纪 40 年代, 前苏联就开始应用氡气测量方法进行找矿工作, 至今氡用于解决地质找矿和基础地质问题, 尤其是作为一中攻深找盲和确定构造位置的方法, 在生产实践中已经得到广泛应用。

1.2 电法

(1) 混场源音频大地电磁法

20 世纪 90 年代初, 美国 GEOMETRICS 和 EMI 公司联合推出 EH4 连续电导率成像仪(简称为 EH4), 将音频大地电磁测深技术向前推进了一大步, 地球物理工作者将该仪器成功地用于地下水、油气田、煤矿、金属矿等的勘查, 取得了较好的效果。核工业系统于 1996 年引进该系统后, 在北方砂岩型铀矿区开展了大量的工作, 利用该技术圈定成矿有利砂体取得了较好的效果, 目前, 该系统无论是在砂岩型铀矿勘查, 还是在热液型铀矿勘查中都发挥了巨大作用^[8]。

(2) 可控源音频大地电磁法

20 世纪 70 年代中期起, CSAMT 方法和技术在全球得到了迅速的普及和发展, 其应用领域包括石油、天然气勘查; 深部地质构造; 寻找金属矿; 地下水调查以及工程勘查等; 取得了大量的成果。核工业系统于 80 年代中期引进了 CSAMT 法。原中南地勘局 304 大队利用 GDP-16 型仪器, 在火山岩铀矿床的勘查中做了一定的工作。但是由于 CSAMT 法要求有较深的电磁理论基础。同时也由于方法本身有的一些问题。例如地形影响, 近源校正和静态效应校正等问题未能得到较好的解决。因

此,取得的成果是很有限的。进入 21 世纪后,随着 GDP-32、ADU-06、V8 等多功能电法工作站等先进设备的推出,CSAMT 又得到了快速发展,在铀矿勘查,该技术被广泛应用于追踪区域断裂、确定控矿构造、圈定古河道的空间位置、圈定成矿有利砂体空间分布^[9]。

(3) 激发极化法

近半个世纪以来的实践证明,激发极化法(简称激电法)是勘查铜、铅、锌、钼等金属矿产的重要方法,且寻找地下水和探测石油、天然气也颇有成效。大功率激电方法输出较强的电流,压制各种干扰信号,提高信噪比,在采用大极距的条件下保证观测精度,具有较大的勘探深度^[10]。在 70~80 年代,核地质系统即开展了激发极化法应用研究,并在沽源、海拉尔等地开展野外探测,取得了较好的地质效果,为铀资源勘查发挥了应有的作用^[2]。

(4) 瞬变电磁法

我国于 20 世纪 70 年代初期开始引入瞬变电磁法,朴化荣、牛之琰、蒋邦远等人对瞬变电磁法的理论,工作方法和仪器设备进行了广泛、深入的研究。为瞬变电磁法要我国的推广奠定了基础。核工业系统于 90 年代中期开始用瞬变电磁法寻找砂岩型铀矿床。从 1996 年开始,核工业 230 研究所,203 研究所,原华东地质学院等单位先后在云南、甘肃、新疆、内蒙等地开展了瞬变测深工作,取得了一定的成果积累了一定和工作经验。最近,核工业 203 研究所的通过对红柳园地区瞬变电磁测量结果的分析,结合地质、重磁等资料,划分出测区盆地基底构造单元,查明了找矿目的层的地层结构、埋深、厚度及空间展布特征,解释了断裂构造。探测成果与钻探结果吻合较好,达到物探先行的目的^[11]。

(5) 自然电位法

自然电位法是电法勘探中应用最早因而也是最老的一种方法,我国早在 50 年代就已经广泛应用自然电位法进行找矿、填图、解决水、工、环工作中的一些问题取得了比较好的效果;此外,由于该方法不需要供电,也是一种比较经济的方法。砂岩铀矿床的形成与层间氧化带或潜水氧化带有关,矿床的产出部位与氧化还原过渡带的空间位置相对应,因而应用自然电位方法寻找砂岩铀矿床应该是行之有效的。东华理工大学自 1999 年开始开展了大量的研究工作,理论和实际资料表明,在可地浸砂岩型铀矿上可观测到较明显的自然电位异常。为进一步研究自然电位异常与矿体性态的关系,提高勘探效果,深入地研究了可地浸砂岩型铀矿独特的自然极化机理,建立了便于计算的线形模型。在此基础上,对单一形态矿体和多种矿体组合时的自然电位异常进行了模拟计算,并阐述自然电位工作方法和注意事项^[14]。

1.3 浅层地震法

在铀资源勘查中,浅层地震勘探法由于工作成本较高以及应用前提相对较苛刻,其使用不如电磁法等方法广泛,但在合适的地方应用,该方法仍能够发挥重要作用^[2]。目前,国内部分单位正积极开展提高浅层地震勘探分辨率和增强地震勘探方法适应性的研究和开发。研究结果表明高分辨率地震技术适合于多年来单一依靠钻探及测井手段确定地下地质情况的沉积岩岩性铀矿藏勘探开发,高分辨率地震技术可以提高勘探精度,指导合理布置钻孔,降低勘探费用,缩短勘探周期^[12]。

1.4 地面高精度磁测

层间氧化带砂岩型铀矿的地球化学分带明显,通常分为氧化带、氧化-还原过渡带和还原带,而铀矿体则产出于氧化还原过渡带内。东华理工大学和核工业北京地质研究院通过对鄂尔多斯盆地的土壤磁性测量和地面高精度磁测数据分析,发现层间氧化带砂岩型铀矿与其磁异常分布存在一定关系,其氧化带大致对应于磁异常的正值区还原带大致对应于磁异常的负值区,而氧化还原过渡带大致对应于磁异常从正值向负值过渡的零值区附近,显示高精度磁测对层间氧化带砂岩型铀矿定位的有效性^[13]。

2 铀资源勘查物探技术发展展望

2.1 发展方向

目前,解决我国铀资源可持续供给的重要途径之一是挖掘已知矿山潜力,拓展深部“找矿新区”,

实现深部找矿突破。由于历史和技术等原因,我国绝大部分地区的勘查深度不足 500 米,在 500 米和 2000 米之间仍具有巨大的找矿空间。90 年代就有研究表明:如果将我国勘查评价深度延伸到地下 2000 米,我国金属矿储量可能翻一番。近年,深部矿产勘查实践也证明我国深部资源潜力十分可观,连续在不同的矿集区深部 1000 米上下取得重大找矿突破。

2.2 发展思路

研究铀矿勘查的新技术、新方法,解决铀矿勘查生产中普遍的、急需解决的物探技术问题,研制开发铀矿勘查仪器,密切跟踪国内外物探及相关领域的发展前沿,及时引进有助于提升物探勘查技术水平的新方法和新技术;针对当前铀资源的勘查需求,自主开发具有国际先进水平的物探仪器和数据处理、解释软件,进一步提高我国铀资源勘查的综合物探技术水平。在突出原创性的同时,还应优先实用性。找矿技术的研发、应用,首先要考虑解决地质找矿的关键性难题,不应一味地追求技术的先进性,而应追求技术的实用性^[15]。当前铀矿找矿物探技术面临着两个关键问题:一是弱信号提取问题,深部埋藏的铀矿床或矿体的信息往往掺杂着复杂的地质背景和众多的干扰因素,需要采取有效措施和手段尽量压制和降低干扰因素,放大有用信息;二是如何识别矿致异常与非矿致异常。

3 对策与建议

针对当前铀矿勘查的实际需要,结合我国铀矿勘探物探技术的发展现状,为了尽快取得找矿的新突破,应将勘查单位及有关铀业公司、科研院所、高校等各方面的力量有机结合起来,以新型产学研模式,开发新一代铀矿找矿关键技术,依靠自主创新,突破技术瓶颈。深部找矿技术需要多种勘查技术方法联合,综合应用重、磁、电、地震、放射性、遥感、化探等多种技术方法,建立不同景观区、不同矿床类型的勘查技术方法的有效组合,圈定找矿靶区。同时,为验证研究开发的找矿新技术,应尽快建立几个铀矿找矿技术试验场,用以确定方法的有效性。

参考文献:

[1] 张金带. 中国铀资源的潜力与前景[J]. 中国核工业, 核能论坛, 2009, 18-21.

[2] 徐贵来, 陆士立, 程纪星,等. 核地研院物化探技术 50 年的回顾与展望, 铀矿地质, 2009, 25 (2): 111-115.

[3] 韩绍阳, 宋志艳, 翟玉贵,等. GR-660 车载 γ 能谱测量系统在砂岩型铀矿勘查中的应用研究, 铀矿地质, 2007, 23 (4): 226-233.

[4] 赵希刚, 贺建国, 赵翠萍.坑内伽马能谱测量在红山地区铀矿找矿中的应用, 物探与化探, 2009, 33 (3): 261-265

[5] 谈成龙, 谢海宁, 汤三星,等.七种放射性测量方法在砂岩型铀矿找矿中的试验, 世界核地质科学, 2007, 24 (3):172-177.

[6] 赵希刚, 贺建国, 赵翠萍.土壤天然热释光测量在红山地区铀矿找矿中的应用效果,世界核地质科学, 2008, 25 (2):110-113.

[7] 叶庆森, 唐智源, 肖礞,等.SNT 地区氡法勘查砂岩型铀矿的应用效果, 物探与化探, 2008, 32 (5):553-558.

[8] 沈远超, 申萍, 刘铁兵,等.EH4 在危机矿山隐伏金矿体定位预测中的应用研究, 地球物理学进展, 2008, 23 (1): 559-567.

[9] 李茂, 丘崇涛, 管少斌. CSAMT 法在内蒙古某古河道砂岩型铀矿勘查中的试验应用, 铀矿地质, 2009, 25 (3): 173-178.

[10] 严振合, 高金铖, 王贵良,等. 大功率激电法在河北槽碾沟地区深部找矿中的应用, 铀矿地质, 2009, 25 (1): 32-36.

[11] 赵希刚, 贺建国, 赵翠萍. 瞬变电磁法在红柳园地区铀矿勘查中的应用效果, 铀矿地质, 2009, 25 (4): 228-252.

[12] 冯西会, 王中锋, 唐建益,等. 用于铀矿勘探的高分辨率地震技术, 物探与化探, 2007, 31: 19-23.

[13] 刘祜, 刘章月, 柯丹,等. 层间氧化带砂岩型铀矿床的高精度磁测定位技术研究, 铀矿地质, 2009, 25 (5): 296-302.

[14] 刘庆成, 万骏, 邓居智,等.深穿透物化探方法在隐伏砂岩型铀矿床找矿中应用研究, 核工业地质局项目研究报

- 告, 2000.
- [15] 施俊法, 周平, 唐金龙,等. 关于金属矿床深部找矿关键技术发展战略的思考, 地质通报, 2009, 29 (2-3) , 198-207.

The application actualities and prospects of geophysical methods to uranium prospecting

LIU Qing-cheng

(East China Institute of Technology, Fuzhou of Jiangxi Prov. 344000, China)

Abstract: Basic principles of geophysical methods to uranium prospect are briefly introduced, and the effects as well as problems in using those methods are analysed respectively. Combining with the increasing demand of uranium resources for Chinese nuclear power development and the higher requirements of geophysical techniques, the developing directions and the thoughts of geophysical techniques in uranium prospecting were proposed. A new pattern with producing, teaching and researching together is brought forward to develop advancing uranium prospecting key technologies and to break through technological bottlenecks depending on independent innovation. Integrated geophysical methods for prospecting uranium deposits are suggested. The method includes geophysical techniques as follows: gravity, magnetic, seismic, radioactive, remote sensing, and geochemical method in some proving grounds. Based on the experimental research, new uranium deposits prospecting models with efficient integrated geophysical methods can be established.

Key words: uranium deposit; geophysical method; radioactive geophysical exploration; electromagnetic method; prospect